



Faz değıştiren malzemeli duvarlarda sıcaklık dağılımının nümerik analizi

Numerical analysis of temperature distribution in walls with phase change materials

Meral ÖZEL^{1*}, Fethi Ahmet ÇAKMAK², Nesrin İLGİN BEYAZIT³

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, ORCID: 0000-0002-9516-4715

² Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa, ORCID: 0000-0003-4575-5055

³ Mardin Artuklu Üniversitesi, Mardin Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Mardin, ORCID: 0000-0003-4708-9615

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 15 Ekim 2021
Revizyon 20 Kasım 2021
Kabul 25 Aralık 2021
Online 31 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Faz değıştiren malzeme (FDM),
sıcaklık dağılımı, ANSYS, Kış
şartları

ÖZ

Bu çalışmada, bina dış duvarlarında geleneksel ısı yalıtım malzemesi yerine faz değıştiren malzeme (FDM) kullanılarak duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı ANSYS’de sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaç için Elazığ ilinin kış iklim şartları göz önünde bulundurularak güney ve kuzeye bakan bir duvar için beş farklı duvar modeli ele alınmıştır. Belirlen bu duvar modelleri için ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları hesaplanmış ve daha sonra ise ısı depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları tespit edilmiştir. Sonuç olarak özellikle FDM’nin kullanılmasıyla duvar içerisindeki sıcaklık dalgalanmalarının oldukça fazla sönümlenerek birbirine yakın sıcaklık değerlerinin elde edildiği ve duvar içerisinde hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı açısından en iyi duvar yapısının FDM’nin dışta olduğu durumda elde edildiği görülmüştür.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 Ekim 2021
Received in revised form 20
November 2021
Accepted 25 December 2021
Available online 31 December 2021

Keywords:

Phase change material (PCM),
temperature distribution, ANSYS,
Winter conditions

ABSTRACT

In this study, temperature distributions through thicknesses of walls were investigated numerically in ANSYS by using Phase Change Material (PCM) instead of conventional thermal insulation materials on the building exterior walls. For this purpose, 5 different wall models were determined and analysed for winter climatic conditions by considering the climate data of Elazığ province. For these determined wall models, firstly the temperature distributions through the thickness of the wall were calculated, and then the time lag and decrement factors representing the thermal storage capacities were determined. As a result, it is seen that temperature fluctuations in the wall was dampened considerably, especially with the use of FDM, and temperature values close to each other are obtained and they remain almost constant inside the wall. In addition, it was observed that the best wall structure in terms of maximum time lag and minimum decrement factor was obtained when the FDM was outside.

Doi: 10.24012/dumf.1051456

* Sorumlu Yazar

Giriş

Günümüzde artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme gibi durumlar enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaçlardan dolayı alternatif enerji kaynakları bulma, eldeki enerjiyi depolama ve kullanılan kaynakların tasarrufu gibi konular üzerine daha çok yoğunlaşmaya başlanmıştır.

Dünya da enerji ihtiyacının %78'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların gittikçe azalması gelecekte dünyanın enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında zorluk çekileceğini göstermektedir. Ayrıca fosil yakıtların doğaya zarar verdiği de unutulmamalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı farklı enerji kaynakları araştırılmaya ve eldeki enerjinin daha verimli kullanılması için çalışmalar devam etmektedir [1].

Bir işi daha az enerji ile yaparak enerji tasarrufu yapılabilir. Binalarda kullanılan enerjinin büyük kısmı ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır. Bu enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Bu nedenle bina dış duvarlarının yalıtılması gerekmektedir. Yapılarda uygun yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla enerji kayıpları azalacağından ısıtma tesisinin kurulum maliyeti de azalacaktır. Kurulum maliyetleri ve ısı kayıpları nedeniyle harcanan gereksiz enerji düşünüldüğünde yalıtımın ne kadar önemli olduğu anlaşılmış olur.

Binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarında verimliliği arttırmak için faz değiştiren maddeler (FDM) kullanılmaktadır. Faz Değiştiren Maddeler (FDM) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir ve FDM'nin bina uygulamalarında kullanımına tuz hidratlarının bir binada kullanılması ile 1970 yılında başlanmıştır [2].

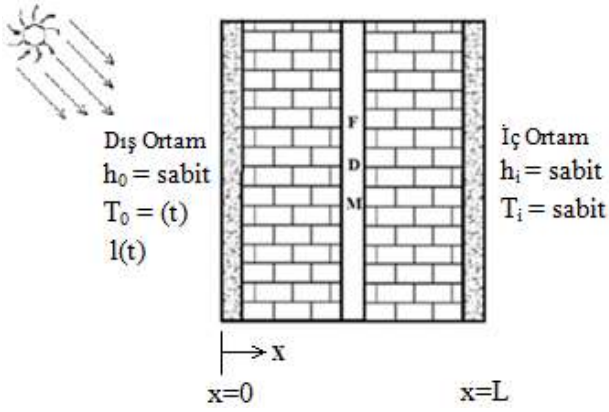
Yapılan literatür araştırmasında FDM'ler ile ilgili sayısal ve deneysel olmak üzere birçok farklı uygulamayla karşılaşmıştır. Bu konu ile ilgili olmak üzere yapılan çalışmalar incelendiğinde Çevik [3] Türkiye'nin güneydoğusunda duvar yapısının ısı verimini artırmak ve ısı yalıtım alternatifi oluşturmak amacıyla iki özdeş test odası inşa etmiştir. Test odalarından birinin duvarı FDM doldurulmuş polikarbonat malzeme ile kaplanmıştır. Deneyler sonucunda FDM ile kaplanan duvarın kaplanmayana göre daha iyi ısı yalıtım etkisi yaptığı görülmüştür. Çırakman [4] faz değiştiren maddeyi güney duvarda kullanarak trombe bir duvar tasarlamış ve bu duvarın yıllık performansını deneysel olarak incelemiştir. Kandasamy vd [5] faz değiştiren malzeme uygulanmış bir kompozit duvarın yıl boyunca uygulanabilirliğini araştırarak yaz ve kış aylarında enerji tasarrufunun etkisi ile iç yüzey sıcaklıklarındaki dalgalanmaları incelemişler. Konuklu [6] Faz değiştiren malzemeleri mikrokapsülleyerek enerji depolama özelliğinin binalarda sağlayacağı enerji tasarrufunu incelemiştir. Sonuçlar uygulamanın; kış şartlarında ısıtma için %10-15 arası ve yaz şartlarında soğutma için %5-10 arası verim sağladığını göstermiştir. Kurt [7] beton karışımlarında faz değiştiren madde kullanarak dayanımı bozmadan ısı performansını

artırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla faz değişim sıcaklığı 23-26 °C olan 110 J/g gizli ısıya sahip parafin kullanmıştır. FDM kullanılan betonun kullanılmayana göre daha yüksek bir ısı performansına sahip olduğunu göstermiştir. Mushtaq vd [8] yalıtım olarak faz değiştiren malzeme kullanımını deneysel olarak incelemişler. Bu çalışma için standart ve FDM kullanılan iki ayrı oda inşa ederek Faz değiştiren malzeme olarak 44 °C erime sıcaklığına sahip olan parafin kullanmışlar. Quanying vd [9] duvarlara farklı şekilde yerleştirilmiş faz değiştiren malzemelerin termal özelliklerini incelemek için parafin kullanılmıştır. Faz değiştiren malzeme kullanılan duvar ile klasik beton duvar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre doğrudan karıştırma yöntemine nazaran laminasyon enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan duvarda ki enerji tasarrufu daha iyi olmuştur. Bu yöntem ile hazırlanan faz değişim malzemesinin gizli ısı depolama kapasitesi ve daha belirgin enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Laminasyon yönteminin karmaşık ve uygulanabilirliğinin zorluğu vurgulanmıştır. Örengül [10] yapıların FDM içeren tavanın ısı yalıtımına olan etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Bu çerçevede iki özdeş yapı inşa etmiştir. Yapıların birinin tavanı FDM doldurulmuş delikli tuğlayla örülmüştür. Sonuç olarak FDM kullanılan tavanın diğerine göre daha iyi bir günlük ısı yalıtımı sağladığı saptanmıştır. Tokuç [11] faz değiştiren malzemelerin ısı depolama amacıyla yeni nesil bina malzemesi olarak kullanımının enerji kazanımı sağlayacak bir yöntem geliştirmesini amaçlamıştır. Kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçlarda FDM ile geliştirilen yapı bileşenlerinin binalarda kullanımına yardımcı olabilecek veriler tartışılmış ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Yukarıda görüldüğü gibi literatürde FDM kullanımıyla ilgili çalışmaların çoğunun deneysel olduğu ve enerjinin depolanarak ortamın ısıtılması amaçlandığı görülmektedir. Bu çalışmada ise bina dış duvarlarında yalıtım yerine FDM kullanımının etkisini araştırmak için beş farklı duvar yapısı ele alınarak ve kış şartları göz önünde bulundurularak duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları, faz kayması ve sönüm oranları sayısal olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar güney ve kuzey yönleri için ANSYS Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek şartlara yakın bir analiz gerçekleştirmek için bina dış yüzeyinin gün boyunca değişen güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklıklarına maruz kaldığı göz önünde bulundurulmuştur.

Matematiksel Metot

FDM içeren katmanlı duvar Şekil 1'de gösterilmiştir. Duvarın iç ve dış yüzeylerinde 2 cm kalınlığında sıva bulunmakta olup duvar 2 cm FDM ve toplam 20 cm kalınlığında tuğladan oluşmaktadır. Tuğla ve sıva katmanları için fiziki özelliklerin homojen olduğu ve sıcaklıkla değişmediği kabul edilmiştir. Duvar katmanları arasındaki temas direnci dikkate alınmamıştır.



Şekil 1. FDM ile yalıtulmuş duvar modeli

Ortamın ısı kazanç ve kaybının hesaplanabilmesi için duvarın iç yüzey sıcaklığının bilinmesi gerekir. Katmanlı düzlem duvarda sıcaklık dağılımı aşağıda verilen geçici rejimde bir boyutlu ısı iletiminin uygun sınır şartları kullanılarak çözülmesi ile elde edilmiştir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Burada $\alpha = k / \rho c_p$ olup k duvar malzemesinin ısı iletkenliği ρ yoğunluk ve c_p ısı kapasitesidir. İç ve dış yüzeydeki sınır şartları aşağıdaki gibidir.

x=L için

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=L} = h_i (T_{x=L} - T_i) \quad (2)$$

x=0 için

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = h_0 (T_e - T_{x=0}) \quad (3)$$

Burada T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olup dış ortam sıcaklığı T_0 , güneş ışınımı şiddeti I, duvarın güneş ışınımı emiciliği a ve dış ortamın taşınım katsayısı h_0 'a bağlı olarak dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_0 + \frac{aI}{h_0} \quad (4)$$

FDM 'nin katı-sıvı ara yüzeyi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [12].

$$k_k \frac{\partial T_k}{\partial x} - k_s \frac{\partial T_s}{\partial x} = \rho L \frac{\partial S_{(t)}}{\partial t} \quad (5)$$

Yapıların Faz Kayması ve Sönüm Oranları

Sürekli değişen iklim koşullarının etkisinde kalan dış duvarlar, ısıtma/soğutma yükünün azaltılmasında ısı kütle olarak rol oynarlar. Duvarı oluşturan katmanların konumu ve termofiziksel özellikleri, binanın ısı performansının belirlenmesinde önemli parametrelerdendir. Bu bağlamda faz kayması ve sönüm oranı binanın ısı enerji depolamasında belirleyici rol oynamaktadır. Günlük sıcaklık değişimlerinin yüksek olduğu bölgelerde, faz kayması ve sönüm oranlarının belirlenmesi, enerji etkin bina tasarımlarında ısıtma yükünün azaltılması için önemlidir.

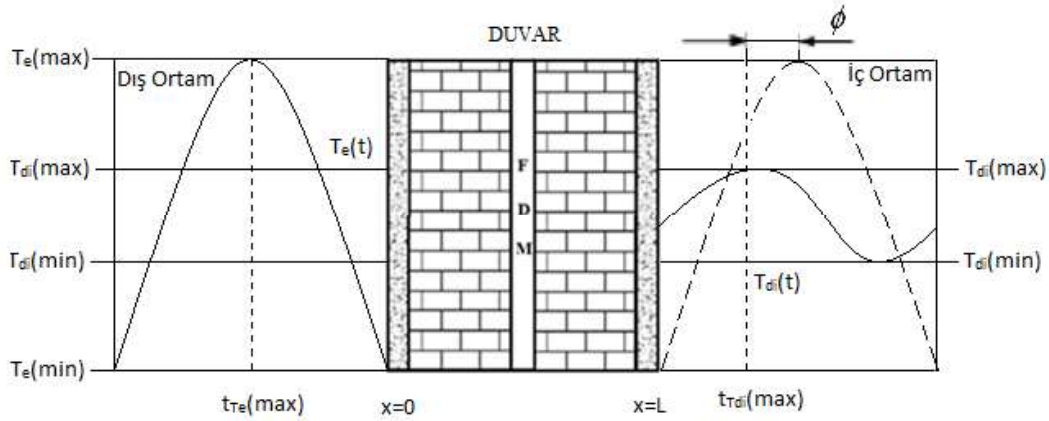
Şekil 2'de görüldüğü gibi sinüzoidal sıcaklık dalgası, dış yüzeyden iç yüzeye ulaşmaya kadar geçen zaman, yani eşdeğer dış sıcaklığın en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark, faz kayması olarak adlandırılır. Bu işlem süresince onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı, başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığının genliğinin eşdeğer çevre sıcaklığının genliğine oranı da, sönüm oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu iki özellik, yapıların ısı depolama kapasitelerini hesaplamak için çok önemli bir kriterdir. Faz kayması matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [13].

$$\phi = t_{T_{di}(\max)} - t_{T_e(\max)} \quad (6)$$

Burada $t_{T_{di}(\max)}$ iç yüzey sıcaklığının maksimum olduğu zaman, $t_{T_e(\max)}$ ise eşdeğer dış sıcaklığın en yüksek değerine ulaştığı zamanı belirtmektedir. Sönüm oranı ise matematiksel olarak genliklerin birbirine oranı olup

$$f = \frac{T_{di}(\max) - T_{di}(\min)}{T_e(\max) - T_e(\min)} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir [13].



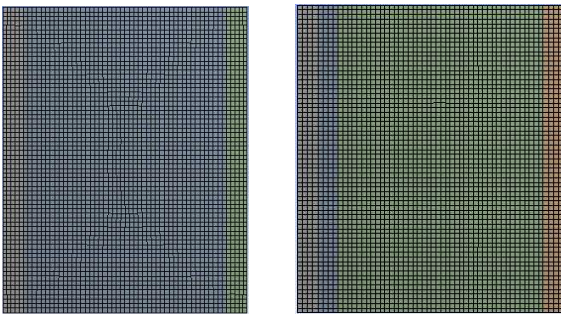
Şekil 2. Faz kayması ve sönüm oranı şematik gösterimi [13].

Sayısal Yöntem

Bu çalışmada, bina dış duvarlarında yalıtım yerine FDM kullanılarak kış şartları için duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı sayısal olarak hesaplanmıştır. Analizler güney ve kuzey yönleri için ANSYS Fluent programı ile iki boyutlu ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Program aşamaları aşağıda sıralanmıştır;

1) *Geometri*: Bu aşamada yalıtımlı ve yalıtımsız duvar modellerinin çizimi yapılmıştır. Yalıtımsız ve yalıtımın dışta, içte ve ortada olduğu durumlar için beş farklı model tasarlanmıştır.

2) *Ağ yapısı (mesh)*: ANSYS programında analizlerin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için duvar modelleri üzerine ağ yapılarının atanması gerekmektedir. Ağ yapısı analizin doğru bir şekilde çözülmesindeki en önemli parametrelerden birisidir. Bu çalışmada kare şeklinde ağ yapısı kullanılmıştır. Yalıtımsız duvar modelinde düğüm sayısı 4067, eleman sayısı 3808 olarak belirlenmiştir. Yalıtımlı duvar modellerinde ise düğüm sayısı 4014 eleman sayısı 3696 olarak belirlenmiştir. Yalıtımsız ve yalıtımın dışta olduğu duvar modellerine ait ağ yapısı Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ağ yapıları (mesh): (a) Yalıtımsız duvar modeli
(b) Yalıtımın dışta olduğu duvar modeli

3) *Çözüm adımları*: Geometri ve ağ yapısı belirlenen modeller için malzeme özellikleri, sınır şartları, iterasyon

ve yakınsama değerleri ile çözüm metodları bu aşamada programa girilmiştir.

Analizlerde kullanılan FDM, sıva, tuğla ve camyünü malzemelerinin tablolarda belirtilen özellikleri girilmiştir.

Sınır şartı olarak iç ortamda kış şartlarında 18 °C ve taşınım katsayısı sabit 8 w/m²K, dış ortamda ise değişken sıcaklık şartı ile taşınım katsayısı 23 w/m²K olarak belirlenmiştir. Dış yüzey 24 saat boyunca değişen güneş ışınımı ve dış ortam sıcaklığına maruz kaldığı için 24 farklı eşdeğer sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Değişken sıcaklık şartının programa uygulanabilmesi için User Defined Function (UDF) da kullanılmak için bir C kodu oluşturulmuştur. Bu kod sayesinde her bir saatin sıcaklığı farklı olacak şekilde ardıl günlerde tekrarlı olacak şekilde yazılmıştır. Bu sayede birkaç gün üst üste her bir saatin değeri kendi zamanı geldiğinde sınır şartı olarak otomatik uygulanmıştır.

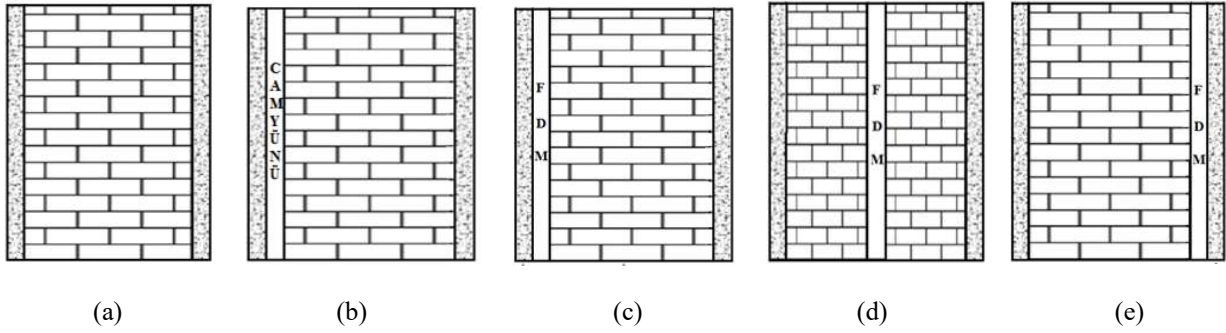
Çözüm metodu olarak basınca dayalı SIMPLE seçeneği kullanılmıştır. Sistem başlangıç sıcaklığı olarak 18 °C olarak belirlenmiştir. Yakınsama değeri olarak continuity = 1e-03, x-y velocity = 1e-03 ve energy = 1e-06 olarak girilmiştir. İterasyon sayısı 1000 olup her 3600 saniyede bir tüm değerler kaydedilecek şekilde ayarlanmıştır.

Duvar Modellerinin Tanıtılması

Bu çalışmanın ana amacı yalıtım yerine FDM'nin kullanılması ve mevcut yalıtım ile kıyaslanmasıdır. Daha önce çok katmanlı duvarların kalınlıkları boyunca sıcaklık dağılımları ANSYS' de analiz edilmiş ve 3 farklı yalıtımlı duvar yapısı ele alınarak sıcaklık dağılımları yaz ve kış şartları için hesaplanmıştır [14]. Ancak bu çalışmada ise FDM' nin duvar yapısında kullanımı ele alınmış ve mevcut yalıtım malzemesi ile kıyaslanmıştır.

Bu amaçla Şekil 4'de gösterilen beş farklı duvar modeli belirlenerek ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları belirlenmiş ve daha sonra ise ısıl depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları belirlenmiştir. Tüm duvar modelleri, içte ve dışta 2 cm kalınlığında sıva ve toplam 20 cm kalınlığında tuğladan

oluşturmuştur. Camyünü yalıtım malzemesi ve FDM'nin kalınlıkları ise 2 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Duvar modelleri: (a) Yalıtımsız duvar modeli (b) Camyününün dışta olduğu duvar modeli (c) FDM'nin dışta olduğu duvar modeli (d) FDM'nin ortada olduğu duvar modeli (e) FDM'nin içte olduğu duvar modeli

Tasarlanan duvar modellerinin iç ve dış ortamları belirli sınır şartlarına maruzdur. Kış şartlarında iç ortam sıcaklığının sabit 18°C olduğu ve taşınım katsayısının 8 w/m²K olduğu kabul edilmektedir. Dış ortamda ise taşınım katsayısı sabit 23 w/m²K olarak kabul edilip sıcaklığın değişken olduğu ve dış ortamın güneş ışınımına maruz kaldığı göz önünde bulundurulurak eşdeğer sıcaklık

değerleri belirlenmiştir. Bu sıcaklıklar 24 adet olup her bir saat için farklı değere sahiptirler. Farklı eşdeğer sıcaklıkları bir kod yardımı ile programa tanımlanıp analizlerde kullanılmıştır. Bu sayede gerçek şartlara yakın bir analiz yapılmıştır.

Dış ortamdaki eş değer çevre sıcaklıkları güney ve kuzey yönler ayrı olacak şekilde sırasıyla Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Güneye bakan duvarın eşdeğer çevre sıcaklıkları

t (saat)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T _{es} (°C)	-3,10	-3,45	-3,55	-3,56	-3,80	-4	-4,1	-1,63	4,20	7,96	10,27	11,17
t (saat)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T _{es} (°C)	10,97	10,06	7,10	2,87	-0,20	-1,2	-1,9	-2,16	-2,15	-2,34	-2,69	-2,81

Tablo 2. Kuzeye bakan duvarın eşdeğer çevre sıcaklıkları

t (saat)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T _{es} (°C)	-3,10	-3,44	-3,55	-3,569	-3,80	-4,00	-4,10	-3,08	-0,19	1,49	2,88	3,45
t (saat)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T _{es} (°C)	3,58	3,59	2,70	1,41	-0,20	-1,20	-1,90	-2,16	-2,15	-2,34	-2,69	-2,81

Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Termofiziksel Özellikleri

Bu çalışmada FDM olarak 16-18°C aralığında erime özelliğine sahip kaprilik asit kullanılmıştır. FDM'nin ve duvar yapısında kullanılan diğer elemanların termofiziksel özellikleri ise sırasıyla Tablo 3 ve 4' de verilmiştir.

Tablo 3. Kaprilik asitin termofiziksel özellikleri [15]

Erime aralığı	16-18 °C
Gizli Isı	148,5 kJ/ kg
Katı halde ısı depolama kapasitesi	981 kJ/kgK
Sıvı halde ısı depolama kapasitesi	901 kJ/kgK
Katı halde termal iletkenlik	0,23 W/mK
Sıvı halde termal iletkenlik	0,149 W/mK

Katı halde sabit yoğunluk	2110 kg/m ³
Sıvı halde sabit yoğunluk	1950 kg/m ³

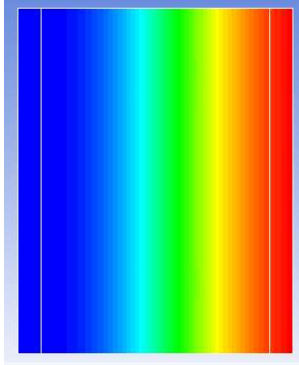
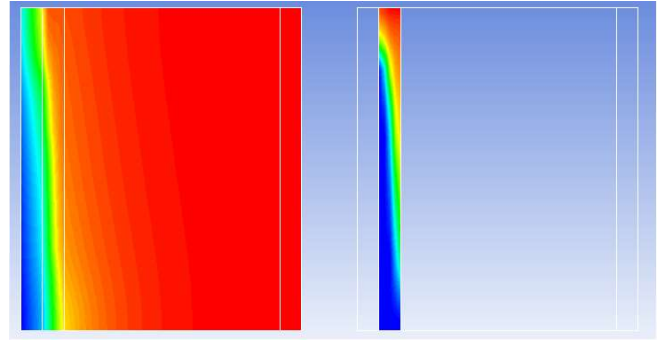
Tablo 4. Sıva ve tuğlanın termofiziksel özellikleri [16]

	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	k (W/mK)
Tuğla	1800	840	0,62
Sıva	1865	840	0,72
Cam yünü	105	795	0.036

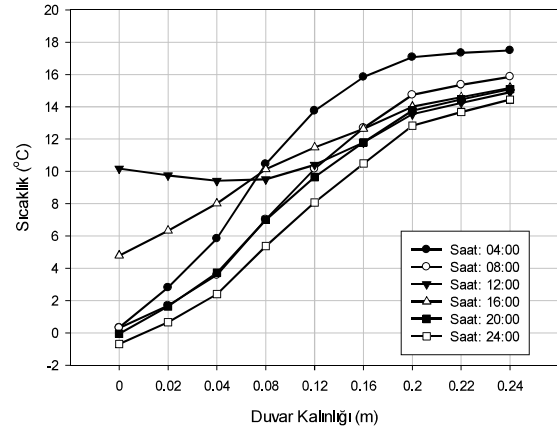
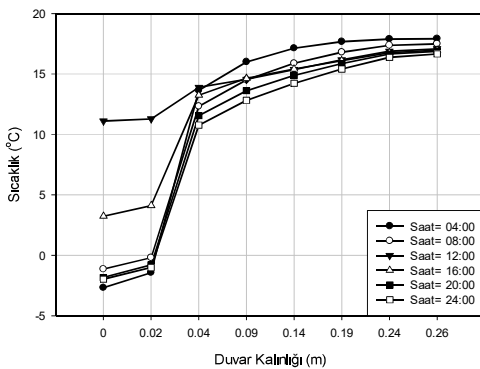
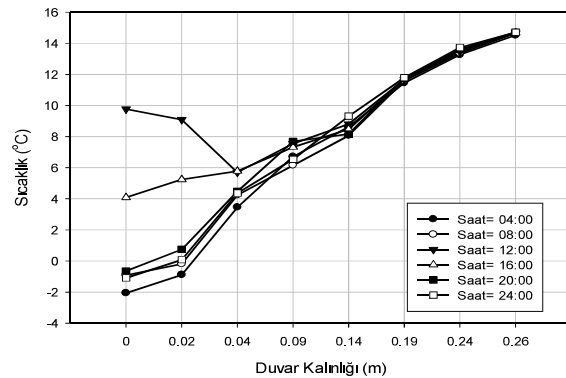
Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmanın ana amacı yalıtım yerine FDM'nin kullanılması ve mevcut yalıtım ile kıyaslanmasıdır. Bu amaçla belirlenen duvar modelleri için ilk önce duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları hesaplanmış ve daha sonra ise ısıl depolama kapasitelerini temsil eden faz kayması ve sönüm oranları tespit edilmiştir.

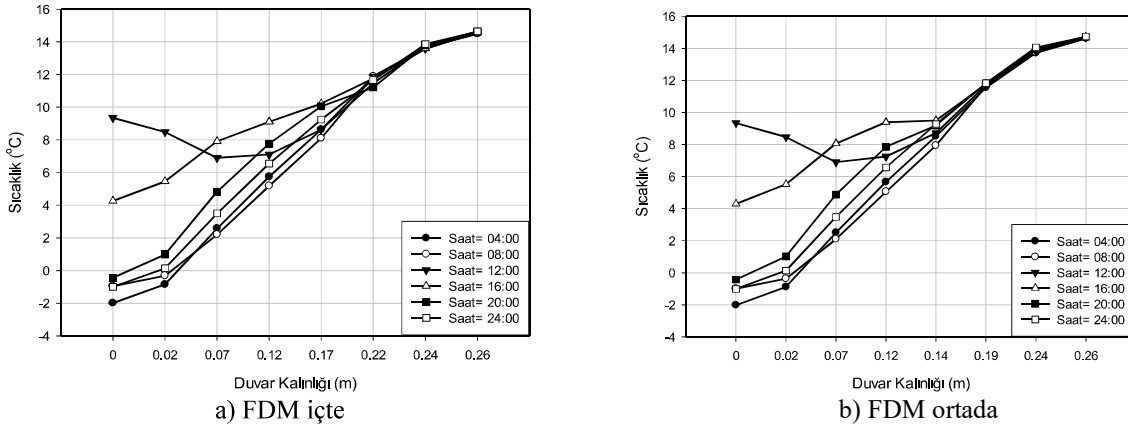
FDM'nin erime gerçekleşen bölgelerini görebilmek için aşağıdaki sıcaklık dağılımları çizilmiştir. Şekil 5 ve 6'da sırasıyla FDM ile dıştan yalıtımlı ve yalıtımsız duvar modellerine ait belirli zamanlardaki sıcaklık dağılımları verilmiştir. FDM'li duvar modellerine ait sıcaklık değişimlerinde erime meydana geldiği zaman sıcaklıktaki değişim şekillerde görülmektedir. Bu değişimler düzenli bir şekilde ilerleyen sıcaklık dağılımının erimenin başlamasıyla farklı bir hal almıştır. Yalıtımsız ve camyünü ile yalıtılmış duvar modellerinin sıcaklık dağılımlarında erime ve katılma olmadığından böyle bir durum gözlemlenmemiştir.

**Şekil 5.** Yalıtımsız duvar modeline ait sıcaklık dağılımı**Şekil 6.** FDM ile dıştan yalıtılmış duvar modeline ait sıcaklık dağılımı ve erime gerçekleşen bölge

Elâzığ'ın kış iklim şartları dikkate alınarak güneşe bakan beş farklı duvar modeli için zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 7-9' da verilmiştir.

**Şekil 7.** Yalıtımsız duvar modeli için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimi**a) Camyünü****b) FDM dışta**

Şekil 8. Camyünü ve FDM'nin dışta olduğu duvar modelleri için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri



Şekil 9. FDM'nin içte ve ortada olduğu duvar modelleri için duvar kalınlığı boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri

Yalıtımsız duvar hariç diğer tüm duvar modellerinde duvar kalınlığı 26 cm'dir ve grafiklerde 4'er saatlik aralıklarla duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımları görülmektedir. Yalıtımsız duvarda, duvarın kalınlığı boyunca sıcaklık dalgalanmalarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Grafiklere bakıldığında duvarın dış yüzeyinde minimum sıcaklık saat 4'te elde edilirken maksimum sıcaklık saat 12'de elde edilmektedir. Bunun nedeni güneşe bakan duvarda maksimum güneş ışınımının öğlen saatinde elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca duvarın dış yüzeyinde yaklaşık olarak -2°C ile 10°C arasında sıcaklık dalgalanması olduğu ve bu dalgalanmaların duvarın dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru azaldığı görülmektedir. Özellikle bu azalma yalıtım malzemesi ve FDM'nin uygulandığı yerlerde daha belirgin olmuştur. Burada amaç duvara yalıtım veya FDM uygulanarak dış sıcaklık dalgalanmalarını sönmüleyip iç yüzey yayılımını en aza indirmektir.

Duvara camyünü yalıtım uygulandığında yalıtım tabakasının etkisiyle sıcaklık dalgalanmalarının oldukça azaldığı görülmektedir. Ancak duvara aynı kalınlıkta FDM yerleştirilerek bu azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle FDM'nin kullanılmasıyla duvar içerisindeki sıcaklık salınımları oldukça fazla sönmülenerek birbirine yakın sıcaklık değerleri elde edilmiş ve duvar içerisinde hemen hemen sabit kalmıştır. FDM'nin dışta olması durumu içte ve ortada olmasına göre en az sıcaklık dalgalanmalarının olduğu görülmüştür. Yani FDM'nin duvarın dışına yerleştirilmesi duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dalgalanmalarını en aza indirdiği tespit edilmiştir.

Çok katmanlı duvar yapısında katmanların yeri ve kalınlığının faz kayması ve sönmü oranı üzerine etkisi vardır. Duvarın ısı depolama kapasitesinin yüksek olması, faz kaymasını arttırırken sönmü oranını ise küçültür. Faz

kaymasının büyük sönmü oranının küçük değerlerde olması, iç mekan konforu açısından istenen bir durumdur. Tablo 5'de güney ve kuzeye bakan tüm duvar modellerine ait faz kayması ve sönmü oranı değerleri yer almaktadır. Tablodan da görüldüğü üzere FDM ile yalıtılmış duvar modellerine ait değerlerin yalıtımsız ve camyünü ile yalıtılmış modellere göre ısı depolama kapasitesi açısından daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca maksimum faz kayması ve minimum sönmü oranı açısından en iyi duvar yapısının FDM'nin dışta olduğu durumda elde edilmiştir.

Tablo 5. Kış şartlarında güney ve kuzeye bakan tüm duvar modellerine ait faz kayması ve sönmü oranı değerleri

Duvar yapısı	Güney		Kuzey	
	Faz Kayması	Sönmü Oranı	Faz Kayması	Sönmü Oranı
Yalıtımsız	5	0,309	5	0,291
Camyünü	6	0,12	6	0,211
FDM Dışta	9	0,043	8	0,064
FDM İçte	8	0,045	8	0,066
FDM Ortada	8	0,048	8	0,069

Sonuç

Bu çalışmada Elazığ iklim şartlarında yalıtım malzemesi olarak faz değiştiren malzeme kullanılarak kış şartları için sıcaklık dağılımları, faz kayması ve sönmü oranları FDM'nin farklı konumları için ANSYS'de sayısal olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Cam yünü yalıtım malzemeli duvar ile kıyaslanmıştır.

Seçilen FDM'nin uygun bir erime ve katılma sıcaklığı aralığında olması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada

faz değiştiren malzeme olarak 16-18 °C aralığında eriyen kaprilik asit kullanılmıştır.

Sonuç olarak, yaz ve kış şartlarında duvara FDM uygulanarak dış sıcaklık dalgalanmaları sönümlenip i yüzeye yayılımının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca duvara FDM uygulanarak duvarın ısı depolama kapasitesinin (maksimum faz kayması ve minimum sönüm oranı) arttığı da görölmüştür.

Kaynaklar

- [1] O.M. Yılmaz, “Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2005.
- [2] Y. Konuklu, H.Ö. Paksoy, “Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği”, X. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan 2011/İzmir, 919-930.
- [3] M. Çevik, “Faz değiştiren maddelerle duvar ısı yalıtımının deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012.
- [4] A. Çırakman, “Faz değiştiren madde içeren bina güney duvarının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2010.
- [5] R. Kandasamy, Q.X. Wang, and S.A. Mujumdar, “Application of phase change materials in thermal management of electronics,” *Applied Thermal Engineering*, 27, 2822-2832. 2007.
- [6] Y. Konuklu, “Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu”, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2008.
- [7] S. Kurt, “Yeni nesil bina malzemeleri için faz değiştiren madde geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2012.
- [8] I. Hasan, Mushtaq, O. Hadi, Basher, Ahmed, Shdhan, “Experimental investigation of phase change materials for insulation of residential buildings,” *Sustainable Cities and Society* 36 (2018) 42-58. 2018.
- [9] Y. Quanying, H. Ran and L. Lisha, “Experimental study on the thermal properties of the phase change material wall formed by different methods,” *Solar Energy* 86 (2012) 3099-3102. 2012.
- [10] F. Örengöl, “Gizli ısı depolamalı tavan ısı yalıtımının neysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2010.
- [11] Tokuç A., “Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanı üretiminde kullanılması”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 2013.
- [12] A. Daloğlu, “Isı Yalıtımında Faz Değiştiren Malzeme Kullanımı,” X. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi, İzmir. 2011.
- [13] M. Özel, “Duvar Yüzeylerinde Periyodik Sıcaklık Değişimi Olan Binalarda Isı Kazanç ve Kayıpların Minimum Yapacak Yöntemlerin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2003.
- [14] M. Özel, N. İlgin, “Periyodik Sınır Şartlarına Maruz Kalan Çok Katmanlı Duvarlarda Sıcaklık Dağılımının ANSYS' de Analizi,” *Tesiat dergisi*, 27-32. 2012.
- [15] M. Okcu, “Faz değiştiren maddelerde erime ve katılaşma sürecinin sayısal olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2011.
- [16] Cengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar. "Heat and mass transfer." *A practical approach* 2007